

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-206480

(43)Date of publication of application : 13.08.1993

(51)Int.Cl.

H01L 29/804

H01L 29/28

(21)Application number : 04-012877

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 28.01.1992

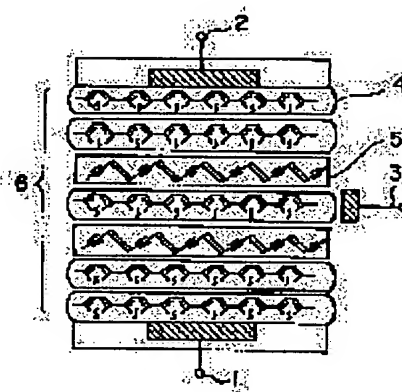
(72)Inventor : TSUMURA AKIRA
HIZUKA YUJI

(54) RESONANCE TUNNEL TRANSISTOR AND APPLICATION DEVICE THEREOF

(57)Abstract:

PURPOSE: To make it possible to produce a resonance tunnel transistor with ease, simplify its structure and attain higher integration.

CONSTITUTION: Integrated films or active layers 6 made of at least two types of organic thin films 4 and 5 are sandwiched between a source electrode 1 and a drain electrode 2 and a gate electrode 3 is installed to the organic thin film 5 so that the conductivity of the laminated layer or the active layer 6 may be changed by the applied voltage of the gate electrode 3. It is, therefore, possible to produce resonance tunnel transistors with higher ease and simplify component structure and attain higher integration.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 07.07.1997

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 21.12.1999

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-206480

(43)公開日 平成5年(1993)8月13日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 29/804 29/28		8728-4M 9171-4M	H 0 1 L 29/ 80	A

審査請求 未請求 請求項の数3(全 8 頁)

(21)出願番号 特願平4-12877

(22)出願日 平成4年(1992)1月28日

(71)出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72)発明者 津村 顯

兵庫県尼崎市塚口本町8丁目1番1号 三
菱電機株式会社材料デバイス研究所内

(72)発明者 肥塚 裕至

兵庫県尼崎市塚口本町8丁目1番1号 三
菱電機株式会社材料デバイス研究所内

(74)代理人 弁理士 高田 守

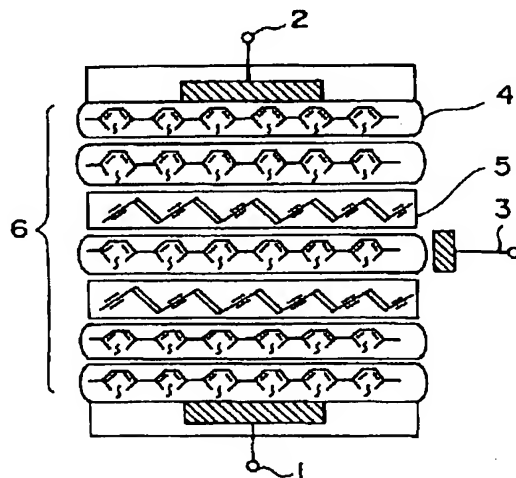
(54)【発明の名称】 共鳴トンネルトランジスタおよびその応用装置

(57)【要約】

【目的】 共鳴トンネルトランジスタの作製の容易化と構造の簡略化および高集積化を可能とする。

【構成】 ソース電極1とドレイン電極2間に少なくとも2種の有機薄膜4、5からなる積層膜あるいは活性層6を挟み込み、有機薄膜5にゲート電極3を設け、ゲート電極3の印加電圧によって積層膜あるいは活性層6の導電率を変えるようにしたものである。

【効果】 共鳴トンネルトランジスタの作製の容易化と素子構造の簡単化および高集積化ができる。



- 1: ソース電極
- 2: ドレイン電極
- 3: ゲート電極
- 4, 5: 有機薄膜
- 6: 有機薄膜の積層膜あるいは活性層

【特許請求の範囲】

【請求項1】 ソース電極とドレイン電極の間に挟まれ少なくとも2種以上の異なる有機薄膜からなる積層膜と、この積層膜に設けられ印加電圧によって上記積層膜の導電率を変えるゲート電極とを備えた共鳴トンネルトランジスタ。

【請求項2】 請求項1に記載の共鳴トンネルトランジスタを少なくとも一つ以上用いて少なくとも一つ以上の入力信号に対して一定の論理的処理を行うことを特徴とする論理素子。

【請求項3】 請求項1に記載の共鳴トンネルトランジスタを少なくとも一つ以上用いて少なくとも一つ以上の入力信号を一定時間以上保持し、入力信号とは別の信号によって逐次これを出力することを特徴とするシフトレジスタ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、有機薄膜の積層膜を用いた共鳴トンネルトランジスタおよびその応用装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】量子井戸における量子効果を利用した従来の共鳴トンネルトランジスタは、基板上に少なくとも2種以上の有機半導体薄膜を数十〜数百原子層ずつ交互に積層した積層膜を活性層として、作製する必要があるため、超高真空下の原子ビームまたは分子ビームによって、無機半導体をエピタキシャル成長させる高度の真空蒸着技術を必要とした。

【0003】また、回路の高集積化を図るためには、複雑で多くの工程数を要するプレーナ技術によって、同一半導体基板上に複数個のトランジスタを同時に作製する必要があった。

【0004】さらに、従来の論理素子は無機半導体基板上にプレーナ技術によって製造され、同一基板上にトランジスタや抵抗、コンデンサなどの電子部品を複数個配置し、これらをアルミニウムなどの金属からなる配線によって接続して用いるため、論理機能を得るための素子製造が複雑になったり、論理素子自体の面積をある程度以上必要とするものであった。

【0005】たとえば、従来の論理素子のうち、最も簡単な論理素子であるインバータ素子においても、すでに実用に供されているインバータ素子は絶縁ゲート型電界効果トランジスタ（以下、IGFETという）からなる飽和IGFETと負荷IGFETを少なくとも1個ずつ接続して構成されている。あるいはまた、飽和IGFETと負荷抵抗を少なくとも1個ずつ接続して構成されている。

【0006】これらのトランジスタや負荷抵抗は無機半導体からなるトランジスタの製造技術の制限から、同一基板上に設けられている。インバータ素子よりも複雑な

論理素子であるAND素子、OR素子、NAND素子および排他的OR素子などの論理素子はインバータ素子よりもさらに複雑な構成となるため、より大きな面積を必要とした。

【0007】さらに、従来のシフトレジスタも論理素子の場合と同様に、同一基板上にトランジスタや抵抗、コンデンサなどの電子部品を複数配置し、これらをアルミニウムなどの金属からなる配線によって接続して用いるため、作製が困難であると同時に、シフトレジスタの機能を得るための素子構造が複雑になったり、シフトレジスタ自体の面積をある程度必要とするものであった。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】上記のように、従来の共鳴トンネルトランジスタや論理素子およびシフトレジスタは活性層が無機半導体の結晶によって構成されているため、素子の作成が一般に困難であり、また、素子自体の構造が複雑で、素子としての機能を得るために、比較的大きな面積を必要とすることから、高集積化が困難になる欠点があった。

20 【0009】請求項1の発明は上記のような課題を解消するためになされたもので、集積度が向上し、安価にできる共鳴トンネルトランジスタを得ることを目的とする。

【0010】また、請求項2の発明は、AND型の論理素子の高集積化が可能となり、かつ安価にできる論理素子を得ることを目的とする。

【0011】さらに、請求項3の発明は、超高集積化が可能となり、かつ安価にできるシフトレジスタを得ることを目的とする。

30 【0012】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明に係る共鳴トンネルトランジスタは、ソース電極とドレイン電極に挟まれ、少なくとも2種以上の異なる有機薄膜からなる積層膜を設けたものである。

【0013】また、請求項2の発明に係る論理素子は、ソース電極とドレイン電極間に挟まれた少なくとも2層以上の異なる有機薄膜からなる積層膜の導電率をゲート電極に印加した電圧によって制御する共鳴トンネルトランジスタを少なくとも一つ以上用いて、一つ以上の入力信号に対して一定の論理的処理を行うように構成したものである。

【0014】さらに、請求項3の発明に係るシフトレジスタは、ソース電極とドレイン電極間に挟まれた少なくとも2層以上の異なる有機薄膜からなる積層膜の導電率をゲート電極に印加する電圧によって制御する共鳴トンネルトランジスタを少なくとも一つ以上用いて、一つ以上の入力信号を一定時間以上保持し、入力信号とは別の信号によって逐次これを出力するように構成したものである。

50 【0015】

【作用】請求項1の発明においては、積層膜は異なるバンド幅あるいは異なるイオン化電位と異なる電子親和力を有する2種以上の異なる有機薄膜が層状に重なっているから、井戸型ポテンシャルが周期的に並んだ電子状態になると考えられ、バンドギャップの小さな層の厚さが十分に小さいと、量子効果によってバンド内に不連続の電子準位が生じる。このとき、電子の波動関数はポテンシャル井戸の中だけでなく、少し外のバリア内までしみ出した形となり、ポテンシャル井戸の両側のバリアの厚みが非常に小さければ、隣合った量子井戸の中の波動関数が重なり、干渉あるいは共鳴し合い、量子井戸内の電子はバリアを突き抜けて進めなくなり、共鳴トンネル現象を呈し、ゲート電極にバイアスを印加した場合、電子の波動関数の重なりが消滅し、ポテンシャル井戸を越えた電子の移動はなくなり、共鳴トンネルトランジスタとして動作する。

【0016】また、請求項2の発明においては、複数個接続した共鳴トンネルトランジスタを用いることにより、ゲート電極にバイアス電圧が印加されることにより、ソース電極とドレイン電極間に電流が流れ、したがって、ゲート電極に入力信号を加えることにより、所定の論理的処理を行うことができる。

【0017】さらに、請求項3の発明においては、隣接したゲート電極に、異なるバイアスを印加している場合、隣合ったポテンシャル井戸間の電子の移動はないが、隣接したゲート電極の電位が等しくなった瞬間に電子が移動し、ソース・ドレイン電極間にパルス状の入力信号を加えて、最初のポテンシャル井戸に電子を注入した後、電子が注入された層と隣接した層のゲート電極の電位を瞬間的に等しくすることによって、逐次電子を隣のポテンシャル井戸に移し、シフトレジスタとして機能する。

【0018】

【実施例】以下、本発明の共鳴トンネルトランジスタおよびその応用装置の実施例について図面に基づき説明するが、勿論、この発明は図示の実施例に限定されるものではない。図1はこの発明の共鳴トンネルトランジスタの一実施例の構成を示す断面図である。この図1の実施例は少なくとも2種以上の異なる有機薄膜からなる積層膜の電気抵抗が共鳴効果の有無によって変化することを特徴とする共鳴トンネルトランジスタの場合を示している。

【0019】この図1において、1はソース電極、2はドレイン電極、3はゲート電極、4、5はそれぞれ異なる種類の有機薄膜であり、これらはソース電極1とドレイン電極2間に挟まれている。有機薄膜6は積層膜あるいは活性層を表す。

【0020】この図1に示すように、一般的に、この発明による有機共鳴トランジスタは活性層の上下と中間部分の有機薄膜4に3個の電極を設けた構造からなるもの

である。

【0021】また、図2は本発明の共鳴トンネルトランジスタを用いた論理素子の一例として、AND素子を構成した断面図である。この図2においても、図1と同様に、1はソース電極、2はドレイン電極、3a、3bはゲート電極である。

【0022】さらに、図3は図1の共鳴トンネルトランジスタを縦に接続して、構成したシフトレジスタの構成を示す断面図であり、この図3においても、図1および図2と同一部分には、同一符号が付されており、図3においても、1はソース電極、2はドレイン電極、3a～3nはゲート電極である。

【0023】これらの図1～図3において、ソース電極1とドレイン電極2およびゲート電極3、3a、3b、3c～3nは高い導電性を有しているものであれば、いずれの材料を用いることも可能である。例えば、金、銀、銅、白金、クロム、アルミニウム、インジウム、タングステン、錫などの金属やカーボン、インジウム錫酸化物(ITO)、錫酸化物、高ドーパシリコン、さらには各種導電性高分子などがあげられる。もちろん、これらの材料を組み合わせる用いてもよい。また、これらの電極の作製法としては、真空蒸着法、スパッタ法、CVD法、メッキ等の方法を用いることができるが、もちろんこれらに制限されるわけではない。

【0024】少なくとも2種以上の異なる有機薄膜4および5のうち、電極と接する有機薄膜4は有機薄膜5よりも電気抵抗が小さいもの、あるいはよりバンドギャップの小さなものが望ましく、なかでも π -共役系導電性高分子が望ましい。

【0025】このような有機薄膜4として、例えばポリアセチレン、ポリピロール、ポリ(N-置換ピロール)、ポリ(3-置換ピロール)、ポリ(3,4-二置換ピロール)、ポリチオフェン、ポリ(3-置換チオフェン)、ポリ(3,4-二置換チオフェン)、ポリベンゾチオフェン、ポリイソチアナフテン、ポリ(2,5-チエニレンビニレン)、ポリ(2,5-チエニレンビニレン)誘導体、ポリ(2,5-フェニレンビニレン)誘導体、ポリアニリン、ポリ(N-置換アニリン)、ポリ(2-置換アニリン)、ポリ(3-置換アニリン)、ポリ(2,3-二置換アニリン)、ポリジアセチレン類、ポリアズレン、ポリピレン、ポリカルバゾール、ポリ(N-置換カルバゾール)、ポリセレノフェン、ポリフラン、ポリベンゾフラン、ポリパラフェニレン、ポリパラフェニレンビニレン、ポリインドール、ポリピリダジン、ポリアセンなどのグラファイト状高分子等、あるいはこれら2種類以上の共重合体及びそれらの両親媒性誘導体等の π -共役系高分子が使用できる。

【0026】ここでこれら高分子の繰返し単位数には制限がなく、繰返し単位数3以上のオリゴマーも使用

できる。あるいはまた、フタロシアニンやメロシアニンなどの分子半導体、銅フタロシアニン、ニッケルフタロシアニン、リチウムフタロシアニン、などの金属フタロシアニンなども使用できる。

【0027】これら有機薄膜の作製法としては、真空蒸着法、分子線エピタキシャル成長法、イオンクラスタービーム法、低エネルギーイオンビーム法、イオンプレーティング法、CVD法、スパッタリング法、プラズマ重合法、電解重合法、化学重合法、スピンコート法、キャスト法、ディッピング法、ロールコート法、バーコート法、LB法等が挙げられ、材料に応じて使用できる。

【0028】これら有機薄膜の膜厚としては、特に制限はない。しかし、得られたトランジスタの特性は有機薄膜からなる活性層の膜厚に大きく左右される場合が多く、その膜厚は有機薄膜の種類により異なるが、一般に3000オングストローム以下が好ましい。また、有機薄膜は、しばしばドーピング処理によりその導電率が制御される。このドーピングの方法には化学的方法と物理的方法があり（工業材料、34巻、第4号、55頁、1986年参照）、前者には（1）気相からのドーピング、（2）液相からのドーピング、（3）電気化学的ドーピング、（4）光開始ドーピング等の方法があり、また後者ではイオン注入法があり、何れも使用可能である。

【0029】一方、電極と接しない有機薄膜5は有機薄膜4よりも電気抵抗が高いもの、あるいはより大きなバンドギャップを有しているものが望ましい。例えば、ポリイミドやポリエステル、ポリパラキシレン、ポリエチレン、ポリフェニレンサルファイド、ポリカーボネートなどの有機絶縁体がいられる。あるいは、有機薄膜4で使用される π -共役系高分子を完全に脱ドーブして絶縁体として用いることも可能である。これらの有機薄膜の作製法も有機薄膜4と同様である。

【0030】本発明にかかわる共鳴トンネルトランジスタの動作の一例を図1を用いて説明する。図1に示した構造の共鳴トンネルトランジスタにおいては、ゲート電極3にバイアス電圧をかけた場合はドレイン電圧によってソース電極1とドレイン電極2の間に電流が流れず、バイアスをかけない場合には電流が流れる。

【0031】本発明の共鳴トンネルトランジスタの動作原理は未だ明らかではないが、量子理論に従うと次のように考えられる。異なるバンド幅（あるいは異なるイオン化電位と異なる電子親和力）を有する有機薄膜が層状に重なっていた場合、図4（a）に示すように井戸型ポテンシャルが周期的に並んだ電子状態になると考えられる。

【0032】このとき、バンドギャップの小さな層の厚さが十分に小さければ、量子効果によって、バンド内に不連続の電子準位が生じる。このとき、電子の波動関数はポテンシャル井戸の中だけでなく、少し外のバリア内

までしみ出した形となっているはずである。したがって、ポテンシャル井戸の両側のバリアの厚みが非常に小さければ、隣合った量子井戸の中の波動関数が重なり、干渉あるいは共鳴し合うはずである。その結果、量子井戸内の電子のバリアを突き抜けて、量子井戸間を移動できることになる。これがいわゆる共鳴トンネル現象である。

【0033】ここで、図4（b）に示すように、ポテンシャル井戸の一つに摂動を加えた場合、すなわち、ゲート電極にバイアスを印加した場合に、電子の波動関数の重なりは消滅し、ポテンシャル井戸を越えた電子の移動はなくなる。このような現象によって、本発明の共鳴トンネルトランジスタは動作すると考えられている。

【0034】次に、本発明の第2の発明である論理素子の一例としてAND素子の動作とその原理を図2を用いて説明する。勿論、本発明の第2の発明である論理素子はAND素子に限定されるわけではなく、インバータ素子やOR素子、NAND素子、排他的OR素子などがあるが、ここでは、一例として、AND素子を取り上げて説明を進めることにする。

【0035】この図2からも明らかなように、AND素子においては、ゲート電極3a、3bの2個が形成されており、どちらのゲート電極3a、3bにバイアスが加えられた場合にのみ、ソース電極1とドレイン電極2間に電流が流れる。したがって、ゲート電極2個に同じ電気信号が印加された場合だけ、電流が流れることから、AND素子として機能する。次の表1はこのAND素子の論理値表である。

【0036】

【表1】

入力1	入力2	出力
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

【0037】次に、本発明の第3の発明であるシフトレジスタについて、図3により説明する。この図3に示す本発明のシフトレジスタにおいて、隣接したゲート電極に異なるバイアスを印加している場合、隣合ったポテンシャル井戸間の電子移動はない。しかし、隣接したゲート電極の電位が等しくなった瞬間に電子が移動する。

【0038】したがって、ソース電極1とドレイン電極2間にパルス状の入力信号を加えて、最初のポテンシャル井戸に電子を注入した後、電子が注入された層と隣接した層のゲート電極の電位を瞬間的に等しくすることに

7

よって、逐次電子を隣のポテンシャル井戸に移すことが可能である。この結果、次の表2に示すように、シフトレジスタとして機能する。

【0039】

【表2】

シフト前	シフト後
1	0
0	1
1	0
0	1

【0040】

【発明の効果】以上のように、請求項1の発明によれば、ソース電極とドレイン電極間に少なくとも2種以上の異なる有機薄膜からなる積層膜を挟み、この積層膜の導電率をゲート電極に印加して制御するようにしたので、素子製作が容易になるとともに、素子構造を簡単にでき、かつ素子の占める面積を小さくして高集積化を可能とする。

【0041】また、請求項2の発明によれば、共鳴トンネルトランジスタを複数個接続して論理素子を得るようにしたので、論理素子の作製を容易にするとともに、論理素子の構造を簡単にすることができ、かつ論理素子の

8

占める面積を小さくして、高集積化が可能となる。

【0042】さらに、請求項3の発明によれば、共鳴トンネルトランジスタを複数個接続して用いてシフトレジスタを構成するようにしたので、シフトレジスタの作製が容易になるとともに、シフトレジスタの構造を簡単にすることができ、かつシフトレジスタの占める面積小さくして、高集積化が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例による共鳴トンネルトランジスタの模式的断面図である。

【図2】同上共鳴トンネルトランジスタを使用した本発明の論理素子の模式的断面図である。

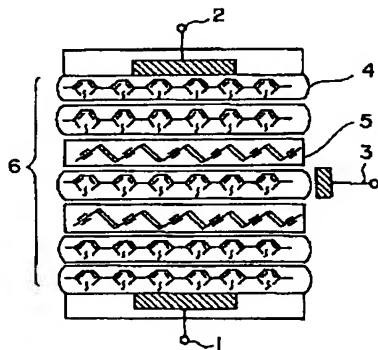
【図3】同上共鳴トランジスタを使用した本発明のシフトレジスタの模式的断面図である。

【図4】図1の共鳴トンネルトランジスタにおける有機薄膜の積層膜の井戸型ポテンシャルの説明図である。

【符号の説明】

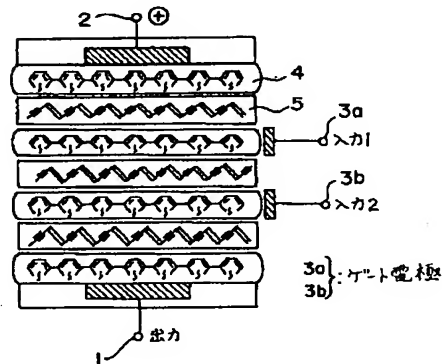
- 1 ソース電極
- 2 ドレイン電極
- 3 ゲート電極
- 3a ゲート電極
- 3b ゲート電極
- 3n ゲート電極
- 4 有機薄膜
- 5 有機薄膜
- 6 有機薄膜の積層膜あるいは活性層

【図1】

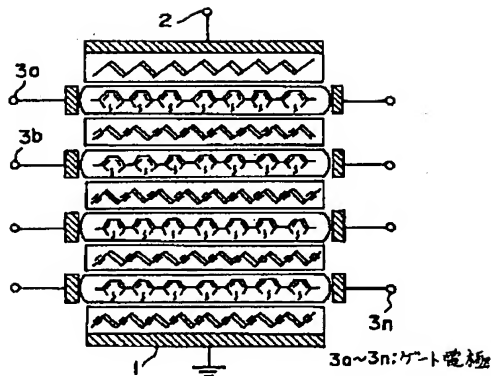


- 1: ソース電極
- 2: ドレイン電極
- 3: ゲート電極
- 4, 5: 有機薄膜
- 6: 有機薄膜の積層膜あるいは活性層

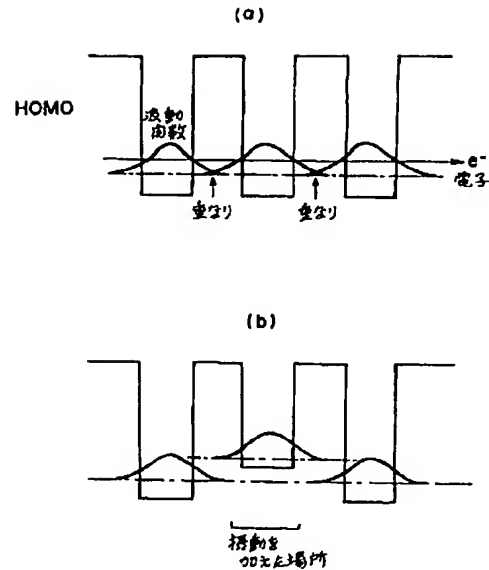
【図2】



【図3】



【図4】



【手続補正書】

【提出日】平成4年6月22日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0002

【補正方法】変更

【補正内容】

【0002】

【従来の技術】量子井戸における量子効果を利用した従来の共鳴トンネルトランジスタは、基板上に少なくとも2種以上の無機半導体薄膜を数十〜数百原子層ずつ交互に積層した積層膜を活性層として、作製する必要があるため、超高真空下の原子ビームまたは分子ビームによって、無機半導体をエピタキシャル成長させる高度の真空蒸着技術が必要とした。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0015

【補正方法】変更

【補正内容】

【0015】

【作用】請求項1の発明においては、積層膜は異なるバンド幅あるいは異なるイオン化電位と異なる電子親和力を有する2種以上の異なる有機薄膜が層状に重なっているから、井戸型ポテンシャルが周期的に並んだ電子状態になると考えられ、バンドギャップの小さな層の厚さが十分に小さいと、量子効果によってバンド内に不連続の電子準位が生じる。このとき、電子の波動関数はポテン

シャル井戸の中だけでなく、少し外のバリア内までしみ出した形となり、ポテンシャル井戸の両側のバリアの厚みが非常に小さければ、隣合った量子井戸の中の波動関数が重なり、干渉あるいは共鳴し合い、量子井戸内の電子はバリアを突き抜けて進めるようになり、共鳴トンネル現象を呈し、ゲート電極にバイアスを印加した場合、電子の波動関数の重なりが消滅し、バリアを越えた電子の移動はなくなり、共鳴トンネルトランジスタとして動作する。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0024

【補正方法】変更

【補正内容】

【0024】少なくとも2種以上の異なる有機薄膜4および5のうち、有機薄膜4は有機薄膜5よりも電気抵抗が小さいもの、あるいはよりバンドギャップの小さなものが望ましく、なかでも π -共役系導電性高分子が望ましい。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0025

【補正方法】変更

【補正内容】

【0025】このような有機薄膜4として、例えばポリアセチレン、ポリピロール、ポリ(N-置換ピロール)、ポリ(3-置換ピロール)、ポリ(3,4-二置